©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenhänge und technische Entwicklungen bei der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe – Übersicht unter Berücksichtigung einschlägiger Leobener Arbeiten[1]

Von Günter B. Fettweis

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 14. Oktober 1983)

Gegenwärtig erreicht die Entnahme von Rohstoffen aus der Erdkruste – einschließlich von Baustoffen und von Erdöl – rund 20 Milliarden Tonnen jährlich. Das entspricht bereits etwa zwei Dritteln der Menge an Feststoffen, die auf Grund von Erosion dem Meer in der gleichen Zeit von allen Flüssen der Erde zugeführt wird (5)[2]. In 50 Jahren kann die Rohstoffproduktion möglicherweise das Fünffache der heutigen betragen, je nach dem weiteren Anstieg der Weltbevölkerung und ihres Pro-Kopf-Verbrauches.

Als Bergingenieur will ich versuchen, einige Informationen zu der umstrittenen Frage zu geben, ob die benötigten Rohstoffmengen auch weiterhin angeboten werden können. Probleme der Nachfrage, einschließlich der damit verknüpften sehr bedeutsamen Substitutionsmöglichkeiten, werde ich dabei jedoch nicht behandeln. Außerdem werde ich mich im weiteren nur auf die festen mineralischen Rohstoffe beziehen.

Im ersten Abschnitt des Vortrages will ich zunächst 10 Aussagen zu den Quellen machen, aus denen die Rohstoffe entnommen werden, d. h. zu deren Lagerstätten. Die Lagerstätten sind der Arbeitsgegenstand des Bergbaus. Der zweite Teil meines Vortrages soll dann einen Einblick in die Bergbautechnik zur Nutzung von Lagerstätten vermitteln und in die Entwicklungen hiebei.

Zehn Aussagen zu Lagerstätten als Arbeitsgegenstand des Bergbaus

Im bergmännischen Verständnis sind Lagerstätten von der Natur geschaffene Anreicherungen mineralischer Rohstoffe in der festen Erdkruste, die nach Lage, Größe und Beschaffenheit für eine wirtschaftliche Gewinnung in Betracht kommen können. Lagerstätten sind demnach Gesteinskörper, die sowohl geologisch als auch technisch-wirtschaftlich definiert sind.

Rein technisch verfügbar – und das sei die erste Aussage – sind nach dem gegenwärtigen und nach dem absehbaren Stand der Bergtechnik vor allem die Rohstoffanreicherungen im Bereich der kontinentalen Erdkruste bis durchschnittlich etwa 2,5 km Tiefe. Der Bergmann nennt diesen Teil der Erdkruste sein Gebirge. Technisch verfügbar ist darüber hinaus aber auch der Meeresboden.

---

[1] Vortrag auf der Gesamtsitzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften am 21. Jänner 1983.

[2] Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literatur- und Quellenverzeichnis am Ende der Arbeit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Als zweite Aussage sei ausgeführt, daß die naturgegebenen, d. h. geologischen Eigenschaften von Lagerstätten sehr mannigfaltig sind. Dies betrifft sowohl die Zahl dieser Eigenschaften als auch deren Variationsbreite.

Bei den bergbaulich wichtigen geologischen Eigenschaften von Lagerstätten können Bonität, Qualität und Quantität unterschieden werden. Unter der Bonität verstehe ich alle geologischen Faktoren, die für die Gewinnung und Aufbereitung des Lagerstättenvolumens von Bedeutung sind und damit auch für die Kosten dieser Prozesse. Dazu gehören viele geometrische, geomechanische, hydrogeologische, geochemische (mineralogisch-petrographische) und geostatistische sowie geothermische Bedingungen des Lagerstättenkörpers und des ihn umgebenden Gebirges. Untersuchungen zur Bonität sind eines unserer Leobener Arbeitsgebiete (9, 12, 18, 20).

Die Variationsbreite der Lagerstättenformen als einen besonders wichtigen Faktor der Bonität zeigt Bild 1 (57). Bei diesen Formen ist zudem von Belang, daß in den häufigen Fällen einer kontinuierlichen Verdünnung des Anreicherungsgrades in das umgebende Gestein die Grenzen des Lagerstättenvolumens nicht geologisch, sondern nur technisch-wirtschaftlich ermittelt werden können.

Die dritte Aussage bezieht sich auf die Qualität von Lagerstätten. Bei den Erzen ist dies vor allem der Anreicherungsgrad von Metall im Lagerstättenkörper, d. h. dessen Metallgehalt. Im Zuge der steigenden Rohstoffproduktion sind in den vergangenen Jahrzehnten laufend ärmere Lagerstätten in Abbau genommen worden. Bei Kupfererz fiel z. B. der Grenzgehalt von etwa 3 % vor 100 Jahren auf 0,5 % heute (45).

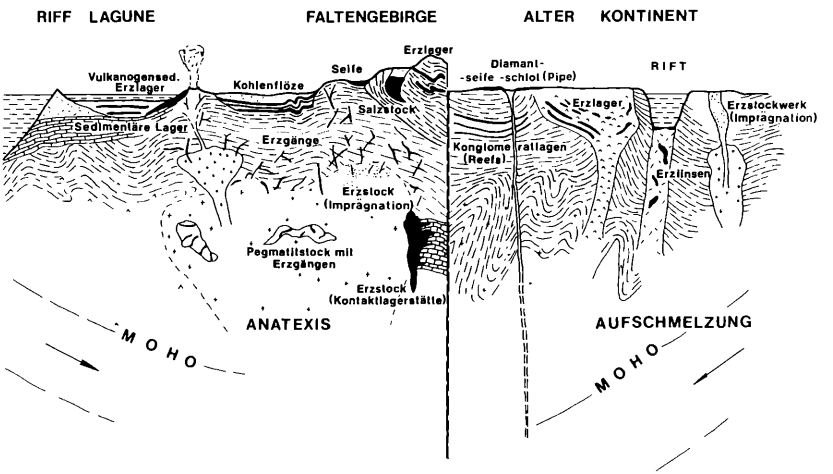

Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der Lagerstättenformen nach W. SIEGL, Leoben (57).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Dem entspricht, was als viertes festgestellt sei, daß die Lagerstätten im herkömmlichen Sinne nur kleine Teile eines großen und breit gestreuten Kollektivs von Vorkommen des jeweiligen mineralischen Rohstoffs in der Erdkruste sind. Der Inhalt der bergtechnisch zugänglichen Erdkruste an Metallen beträgt daher auch, wie wir aus umfangreichen geochemischen Beprobungen wissen, mindestens das Zehnmillionenfache der derzeitigen Jahresproduktion. Darüber, wie diese Mengen sich auf Gesteinskörper verschiedenen Metallgehalts verteilen, gibt es allerdings bisher erst kontroverse Hypothesen. Die Bilder 2 und 3 geben Beispiele hiefür (8, 47).

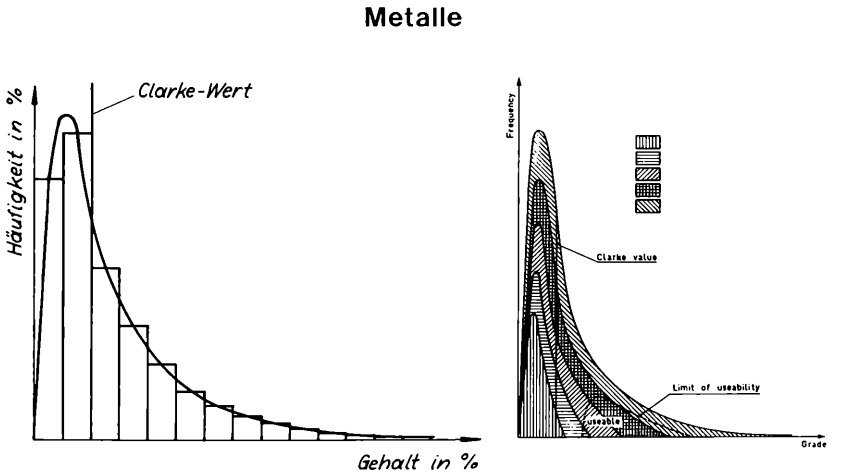

Abb. 2: Hypothesen zur Verteilung mineralischer Rohstoffe in der Erdkruste, FETTWEIS 1975 (8).

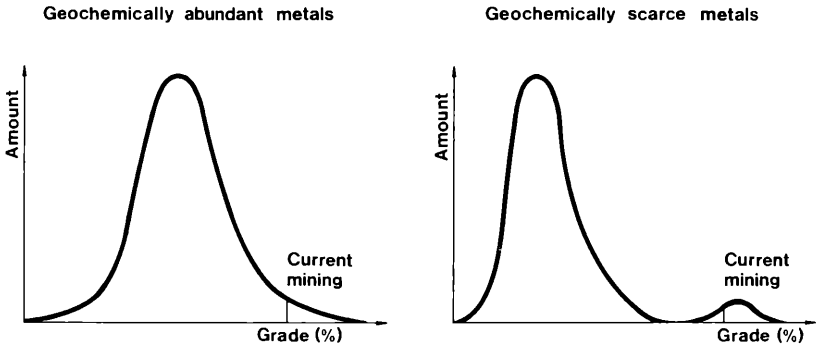

Abb. 3: Hypothesen zur Verteilung mineralischer Rohstoffe in der Erdkruste, SKINNER 1976 (47).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Der gegenwärtige Erzbergbau geht jedenfalls nur in den Bereichen höheren Metallgehaltes um, die verhältnismäßig begrenzt sind. Bei der bisher vorwiegend vermuteten und auch vom Verfasser mehrfach diskutierten logarithmisch normalen und damit einseitig verschobenen Verteilung (Bild 2) vermehrt sich jedoch nicht nur das Lagerstättenvolumen sondern auch dessen Metallinhalt exponentiell mit abnehmenden Gehalten. Bei Kupfer war letzteres in den vergangenen Jahrzehnten etwa im geometrischen Verhältnis der Fall (45).

Neuerdings vertritt SKINNER (Bild 3) aber die Auffassung, daß diese Verteilung möglicherweise nur für die in der Erdkruste häufiger vertretenen Metalle zutrifft, wie insbesondere für Eisen, Aluminium, Magnesium, Titan und Mangan. Bei allen übrigen Metallen hält er eine zweigipfelige Verteilung für wahrscheinlicher[3].

Unabhängig von den genannten Alternativen der Verteilung verbrauchen wir gegenwärtig jedenfalls die günstigeren Vorkommen. Dies entspricht der bergbaubetriebswirtschaftlich prinzipiell richtigen Vorgangsweise. Bei zweigipfeliger Verteilung gibt es für die in Abbau stehenden Vorkommen mit höheren Gehalten jedoch keinen Ersatz im Bereich mittlerer Gehalte.

Die damit angesprochene Problematik kann gegebenenfalls durch den Sachverhalt der fünften Aussage erheblich verschärft werden. Danach steht uns bei den selteneren Metallen möglicherweise auch eine sogenannte mineralogische Schwelle bevor (31, 47, 48).

Mineralogisch kommen die Metalle in den Gesteinskörpern der Erdkruste sowohl als eigene Erzminerale vor – insbesondere als Sulfide, Oxyde, Hydroxyde und Karbonate –, als auch als sogenannte isomorphe Bestandteile im Kristallgitter anderer Minerale, darunter vor allem in dem der Silikate, aus denen die große Masse der Erdkruste besteht. Bedeutsam ist, daß wir nur den Metallinhalt der Erzminerale mit Hilfe der physikalischen Verfahren der bergmännischen Aufbereitungstechnik, d. h. mit einem relativ geringen Energieaufwand, weitgehend vom begleitenden tauben silikatischen Material zu trennen vermögen. Nur die bei der Aufbereitung entstehenden Erzkonzentrate sind dann Gegenstand der anschließenden, energieaufwendigeren metallurgischen Prozesse zur Freisetzung der Metalle aus ihren chemischen Verbindungen.

Im Falle einer mineralogischen Schwelle ist dieser Ablauf jedoch nicht mehr möglich, da laut dieser Hypothese die Metalle unterhalb eines bestimmten Gehaltes nicht mehr als Erzminerale, sondern nur noch isomorph in Silikaten vorliegen. Sollten wir diesen Grenzwert unterschreiten müssen, so wäre daher alles gewonnene Gut metallurgisch zu behandeln und es stiege entsprechend der Energieaufwand für die Metallgewinnung sprungartig auf das Zehn- bis einige Zehnfache des

[3] Für nicht reduzierten Kohlenstoff und damit für Kohle und Erdöl hat der Verfasser in seinen ersten diesbezüglichen Arbeiten die gleiche Annahme vertreten (8, 9). – Die Klärung dieser Fragen erscheint ihm als eine der interessantesten und praktisch wichtigsten Aufgaben der Geowissenschaften.

©Akademie
zentrum.at

bisherigen. Die umstrittene Schwelle wird – Gold und Uran ausgenommen – zwischen 0,1 % und 0,01 % Metallgehalt vermutet. Bei Kupfer sind wir dieser Grenze nicht mehr fern, da wir bereits Erze mit 0,5 % Metallgehalt abbauen.

Die sechste Aussage bezieht sich auf den in Bild 4 gezeigten Zusammenhang. Danach gilt, daß Lagerstätten nicht nur im Hinblick auf ihren Gehalt, sondern auch in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht nur Teile eines über sie hinausgehenden Kollektivs von Rohstoffvorkommen sind. Ausreichend bekannte Vorkommen können nämlich auf ihre Bergbaukosten hin veranschlagt und ihre Mengen (Quantitäten) können danach beurteilt und gereiht werden. Entsprechende Kostenfunktionen, wie wir sie in Leoben vor allem für Kohlenvorkommen erhoben haben, zeigen zumeist einen stetigen und progressiv ansteigenden Verlauf (18). Die vorhin diskutierte mineralogische Schwelle würde bei den betroffenen Erzvorkommen zu einem Kostensprung führen.

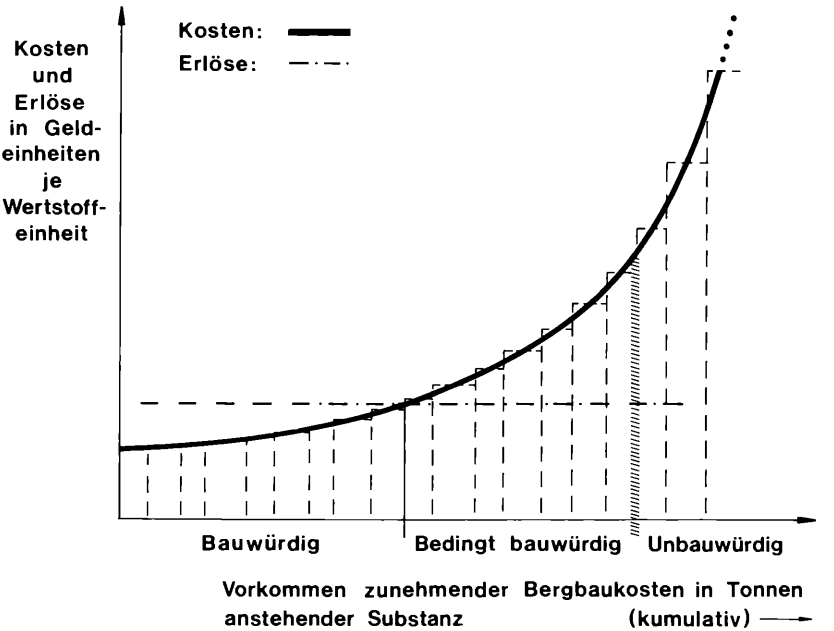

Abb. 4: Kostenfunktion von Vorkommen mineralischer Rohstoffe.

In das Bild lassen sich auch die Bergbauerlöse bei einer gegebenen Marktlage eintragen. Als abbauwürdig gelten die Vorkommen vor dem Schnittpunkt von Kosten und Erlösen. Ihre Menge ändert sich, da Kosten und Erlöse einer ständigen Änderung unterliegen, mit der technisch-wirtschaftlichen Entwicklung.

Bedingt abbauwürdig heißen die darüber hinausgehenden Mengen, von denen angenommen wird, daß sie in Zukunft abbauwürdig werden

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

können. Um sie nach oben, d. h. gegenüber den unbauwürdigen Mineralisationen, zu begrenzen, ist abzuschätzen, wo in einer absehbaren Zukunft von einigen Jahrzehnten einmal der Schnittpunkt von Kosten und Nutzen zu erwarten ist.

Insgesamt stellt die damit kurz umrissene bergmännische Lagerstättenbewertung ein außerordentlich komplexes Gebiet dar, auf dem wir in Leoben seit einigen Jahren zunehmend tätig sind (15, 16, 18, 19, 20).

Die siebente Aussage betrifft die beträchtlichen Kostensenkungen beim Bergbau und die entsprechende Herabsenkung der Kostenfunktionen der Rohstoffvorkommen in den vergangenen 100 Jahren. Die bergbautechnische Entwicklung hat bisher durch Kostensenkung nicht nur die Verarmung und übrigens auch die zunehmende Tiefe der in Abbau stehenden Lagerstätten laufend ausgeglichen, sondern auch darüber hinaus immer mehr Rohstoffvorkommen abbauwürdig und bedingt abbauwürdig werden lassen (49).

Rohstoffvorkommen können aber selbstverständlich nur dann zu Arbeitsgegenständen des Bergbaus werden, wenn sie bekannt sind. Auch die modernsten Methoden der Geowissenschaften und der Bohrtechnik vermögen es bisher jedoch nur mit beträchtlichem Aufwand, die Erdkruste sozusagen durchsichtig zu machen. Der Suchaufwand, der für jede Lagerstätte notwendig ist, nimmt zudem zu, da die oberflächennahen Vorkommen zu großen Teilen bereits gefunden wurden (54). Daraus ergibt sich als achte Aussage, daß geologische Kenntnisse über Rohstoffanreicherungen als ein breites Spektrum vorliegen. Es reicht von ersten spekulativen Vermutungen bis zu einer nach dem Stand von Wissenschaft und Technik maximal möglichen Gewißheit über Ort, Menge und Beschaffenheit eines Vorkommens.

Den Angaben zum Inhalt von Rohstoffvorkommen im Hinblick auf ihre Menge ist meine neunte Aussage gewidmet: Moderne Systeme klassifizieren die diesbezüglichen Mengen und damit die Lagerstättenvorräte matrixartig nach den Ergebnissen der oben diskutierten geologischen und technisch-wirtschaftlichen Überlegungen. Bild 5 zeigt, stärker ausgezogen und geschrieben, das Schema der 1979 ergangenen diesbezüglichen Richtlinien des Generalsekretariats der Vereinten Nationen, an denen wir intensiv mitgearbeitet haben (1, 9, 11, 19, 30), sowie darin eingepaßt unseren unlängst vorgelegten Vorschlag für eine österreichische Norm (20). Unsere Vorschläge gehen vor allem auf eine Analyse und Neubewertung der Kohlenvorräte in der Welt, insbesondere auch in Österreich und in der Bundesrepublik Deutschland, zurück (9, 14, 17, 18, 51). Dazu gehören auch Untersuchungen über Struktur und Ursachen von Abbauverlusten (21, 25).

Die Probleme liegen in der Klassenabgrenzung. Waagrecht wächst dabei von rechts nach links die geologische Gewißheit des Vorhandenseins. Grundlegende Arbeiten hierzu, auch solche geostatistischer Art, stammen von PETRASCHEK (40, 41, 42, 43). Senkrecht nimmt von unten nach oben die technisch-wirtschaftliche Bedeutung zu.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

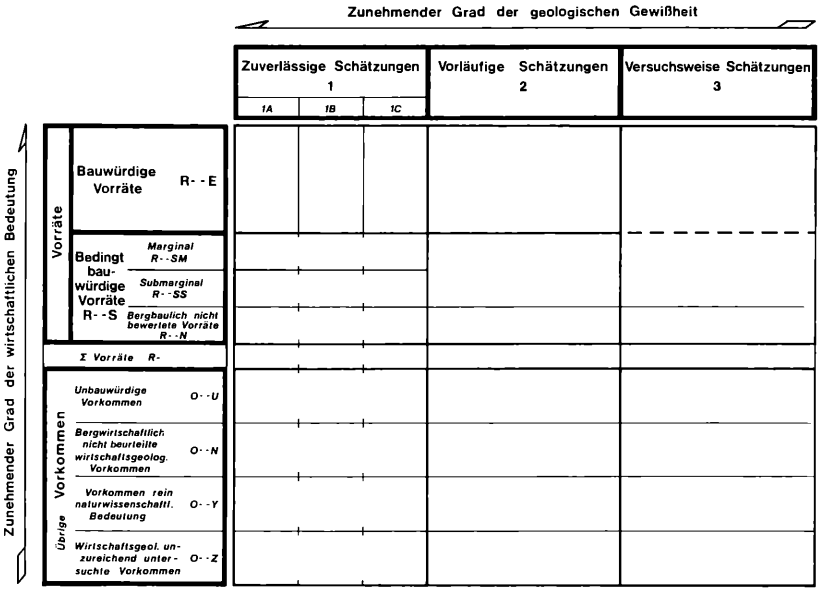

Abb. 5: Schema zur Klassifikation von Vorräten mineralischer Rohstoffe (20).

Das Bild läßt gut die bereits diskutierten offenen Enden der Vorräte erkennen. Die versuchsweisen Schätzungen über konkrete Vorkommen münden in unsere Fragen nach den Gesetzmäßigkeiten bei der Verteilung des Rohstoffinhalts der Erdkruste. Ich halte die Klärung dieser Fragen (es sei wiederholt) für eine der wichtigsten Aufgaben der Geowissenschaften. Die Grenze zwischen Vorräten und Vorkommen ist abhängig von der weiteren technisch-wirtschaftlichen Entwicklung. Darauf möchte ich im zweiten Teil meines Vortrages weiter eingehen.

Vorher sei jedoch noch als zehntes ausgesagt, daß die Lagerstätten mineralischer Rohstoffe nicht nur geologisch und technisch-wirtschaftlich verfügbar sein müssen, wie dies in den zwei Achsen des Bildes 5 zum Ausdruck kommt, sondern auch ökologisch – worauf ich noch einmal kurz zu sprechen kommen werde – und selbstverständlich auch politisch (13).

Zur Bergbautechnik als Arbeitsmittel des Bergbaus

Die technisch-wirtschaftliche Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen wird auch in Zukunft von der Angebotsseite her durch die Kosten der Rohstoffbereitstellung bestimmt werden. Die wichtigste Frage hiebei lautet: Vermag die technische Entwicklung auch weiterhin diese Kosten so zu senken, daß die Grenzen der Lagerstätten sich zu den ärmeren Vorkommen hin verschieben? Mit dieser Frage kommt das Innovationsvermögen und kommen Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Bergbautechnik ins Spiel.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bei der Bergbautechnik können wir, wie Bild 6 zeigt, in einer Richtung zwischen den Verfahren der Bergtechnik (= Bergbautechnik im engeren Sinn als Mittel zur Extraktion von Lagerstätten) und der Aufbereitungstechnik unterscheiden sowie in der anderen Richtung zwischen den Verfahren für den konventionellen und denen für den nicht konventionellen Bergbau. Mein Fach, die Bergbaukunde, schließt – neben der Bergwirtschaft – auf Grund der wissenschaftlichen Entwicklung heute nur noch die Bergtechnik ein und nicht die Aufbereitungstechnik.

	Bergbautechnik	
	Bergtechnik	Aufbereitungstechnik
Konventioneller Bergbau	Tagebau Untertagebau	Vorwiegend physikalische Verfahren
Nicht konventioneller Bergbau	Meeresbergbau	dto.
	Bohrlochbergbau	
	Lösungsbergbau	
	»Biobergbau«	

Abb. 6: Verfahren der Bergbautechnik für die Nutzung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe.

Aufgaben und Entwicklungen der Bergtechnik im konventionellen Bergbau

Bild 7 stammt aus der Gegend von Korinth und ist 2500 Jahre alt (32). Von einer noch gesondert zu besprechenden Ausnahme abgesehen, zeigt es nahezu unübertrefflich und unverändert gültig das Wesentliche an den bergtechnischen Aufgaben im Tagebau und Untertagebau:

– als erstes und weitaus wichtigstes – durch den kräftigen Hauer verkörpert – das Erzwingen von Bruch, um Material zu lösen, – Schlägel und Eisen sind ja auch die Wahrzeichen des Bergbaus,

– zum zweiten die Gefahr von Verbruch dabei und damit die Notwendigkeit, sie abzuwenden,

– zum dritten Laden und Fördern des gebrochenen Gutes zu Tage,

– zum vierten, daß Zugänge zur Lagerstätte – siehe die Stufen – geschaffen und erhalten werden müssen,

– zum fünften, im Bilde dargestellt durch das herabhängende Gefäß, eine Reihe von Versorgungs- und Entsorgungsdiensten – wie Beleuchtung, Belüftung, Wasserhaltung –, um alles übrige zu ermöglichen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

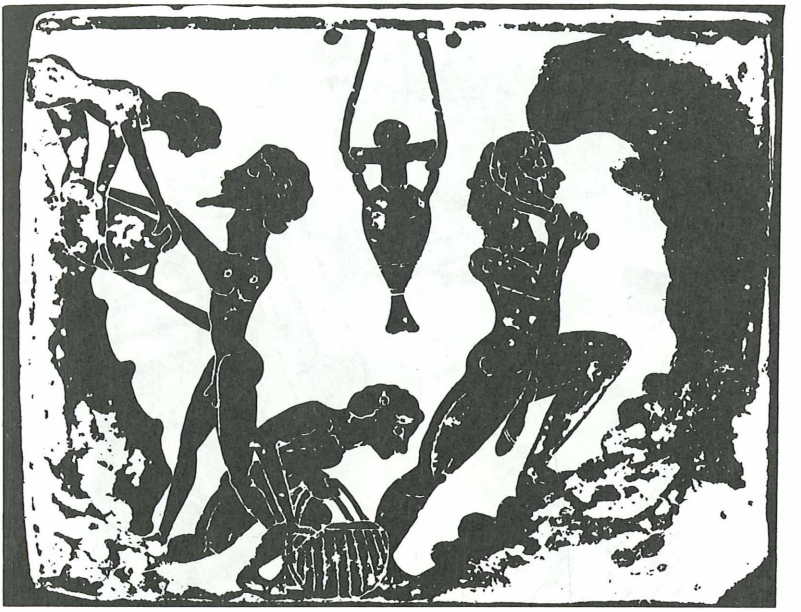

Abb. 7: Bergbau bei Korinth, um 500 v. Chr. Bemalte Tontafel. Im Besitz des Deutschen Bergbaumuseums Bochum (32).

Nicht dargestellt, aber bergtechnisch, insbesondere abbautechnisch außerordentlich wichtig, ist die Lagerstättengebundenheit all dieser Vorgänge und die dadurch verursachte große Variationsbreite bei deren Ausführung und Kombination. Dies wird aus den nachstehenden Darlegungen, die sich vor allem mit dem Untertagebau befassen sollen, noch näher hervorgehen. Ebenso wie Lagerstätten sind damit also auch Bergwerke überaus mannigfaltig.

Große neuzeitliche Bergwerke des Untertagebaus gleichen einer Industrievorstadt, wobei sie im Unterschied zu dieser jedoch, wie im Steinkohlenbergwerk des Bildes 8 zu sehen, zumeist in mehreren Ebenen übereinander angelegt sind (58). Den Fabriken entsprechen die wandernden Abbaue, im Bild in den abgedeckt dargestellten dunklen Flözteilen erkenntlich. In den Abbauen findet das zentrale Geschehen von Bergwerken statt. Das übrige Grubengebäude stellt die Infrastruktur.

Im einzelnen war die Bergtechnik unter Tage noch zu Beginn meiner Ingenieurpraxis in vielen Teilbereichen, darunter vor allem im Abbau, derjenigen vor 2500 Jahren nicht unähnlich. Lösen und Schaufeln erfolgten, wie es Bild 9 zeigt, noch weitgehend mit Muskelkraft. Seit etwa 20 Jahren vollziehen sich jedoch im untertägigen Bergbau der Industrieländer revolutionäre Änderungen – wie länger schon im Tagebau. Mechanisierte Verfahren haben nunmehr auch im Abbau die schwere Bergmannsarbeit ersetzt und werden immer leistungsfähiger.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

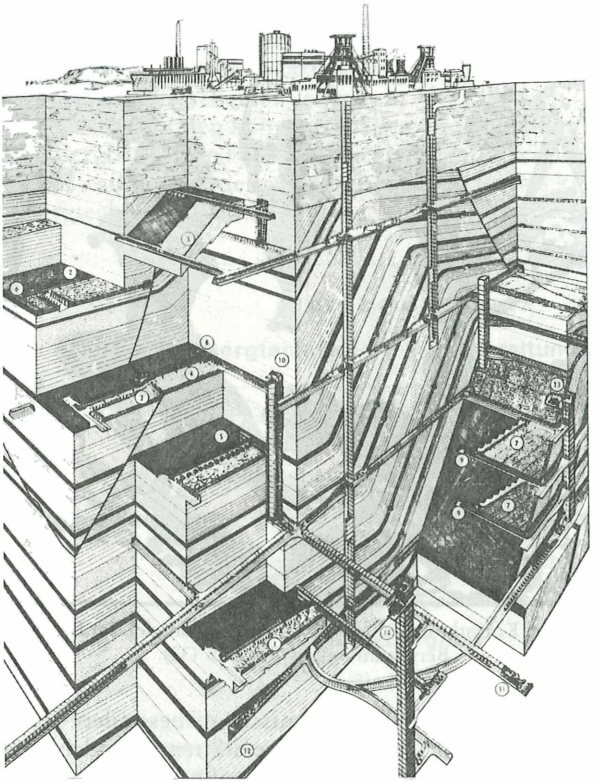

Abb. 8: Grubengebäude eines neuzeitlichen Steinkohlenbergwerks (58).

Bild 10 zeigt stark vereinfacht ein modernes Erzbergwerk (36). Es baut einen steilstehenden, relativ mächtigen Erzkörper in einem standfesten Gebirge ab, nachdem anfänglicher Tagebau wegen der mit der Teufe zunehmenden Abraumgewinnung zu teuer geworden ist. Die herkömmliche Infrastruktur durch Schächte und horizontale Strecken ist durch wendelförmig angelegte Rampen für den Betrieb automobiler Geräte ergänzt. Meist reichen diese Rampen bis zu Tage. Der Abbauraum ist unterhalb des früheren Tagebaus zu sehen. Unter dem Abbau geht Abbauvorbereitung um.

Die Lagerstättengebundenheit eines Bergwerks unter Tage kommt außer im Zuschnitt seiner Infrastruktur vor allem in seinem Abbauverfahren zum Ausdruck. Unter einem Abbauverfahren wird die Art und Weise verstanden, einen Lagerstättenabschnitt in Raum und Zeit in Angriff zu nehmen und dabei das Gebirge zu beherrschen. Durch das Abbauverfahren werden die Fronten für das Hereingewinnen (Lösen) des Guts aus dem Gebirgsverband geschaffen. Jede Lagerstätte erfordert ein an sie angepaßtes Abbauverfahren, wobei eine große Zahl prinzipieller Möglichkeiten zur Auswahl steht.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 9: Abbauarbeiten – Lösen und Laden – von Hand um 1950 (58).

Unser in Bild 10 vorgestelltes Erzbergwerk verwendet einen sogenannten Weitungsbau gemäß Bild 11 (36). Das Hereingewinnen findet abschnittsweise durch Massensprengungen statt. Das geschieht – wie beim Tagebau – an einer sogenannten Strosse. Die Bohrlöcher dazu können bis 70 Meter tief werden. Das gesprengte Erz fällt in den als Weitung bezeichneten, beim Abbau laufend entstehenden Hohlraum. An dessen unterem Ende sind vorbereitend Zugänge geschaffen worden. Von dort bringen große Schaufellader, von denen Bild 12 ein Beispiel zeigt, das Erz zur automatischen Schachtförderung. Die Schaufellader sind also an die Stelle der früheren Handschaufeln getreten.

Ein Verbruch der Weitung wird durch ihre gebirgsmechanisch richtige Bemessung verhindert sowie durch spezielle Maßnahmen der Gebirgsbeherrschung. Dazu kann das Einbringen von taubem Material ebenso zählen wie eine Gebirgsverfestigung, z. B. durch das Einziehen mehrerer zehn Meter langer Seile.

Die Abbauverfahren des Untertagebaus werden um so aufwendiger, je ungünstiger die Lagerstättenbonität ist. Bei dem als Beispiel hiefür in Bild 13 wiedergegebenen Kammerbau auf Teilsohlen und mit Magerbetonversatz, an dessen Entwicklung bei der Bleiberger Bergwerksunion wir beteiligt waren (29, 35, 50), sind daher die Abbauräume mit 10 Meter Höhe kleiner als in Bild 11 gezeigt. Im Vergleich zu Bedingungen guter Bonität ist es demzufolge auch erforderlich, gleichzeitig eine größere Zahl

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

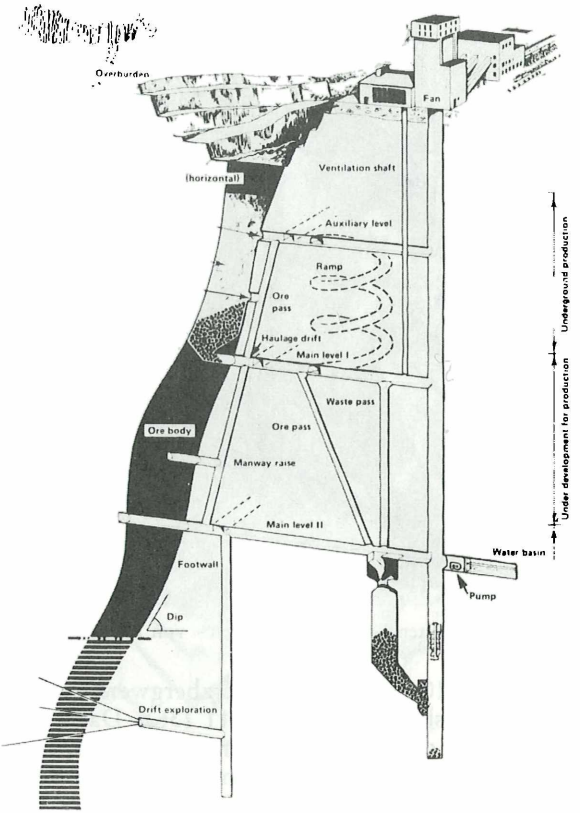

Abb. 10: Grubengebäude eines neuzeitlichen Erzbergwerks (36).

von Abbauen zu betreiben, die zudem in einer spezifischen Weise kombiniert und auf jeden Fall wieder verfüllt werden müssen. Aber auch hier gilt: Sprengen mit Hilfe von Langbohrlöchern sowie Laden und Fördern mit automobilen Schaufelladern.

Ein prinzipiell anderes, sehr kostengünstiges Abbauverfahren, an dessen gegenwärtigem Stand wir gleichfalls Anteil haben, ist ein sogenannter Blockbruchbau im Bergbau Millstätter Alpe der Österreichisch-Amerikanischen Magnesit AG (55, 56). Wie auf Bild 14 zu sehen, wird dabei der Lagerstättenkörper unter Beachtung zahlreicher Parameter abschnittweise unterschlitzt. Statt des Sprengstoffs führt daher die Schwerkraft den größten Teil der Brecharbeiten für das Hereingewinnen aus. Das Erz braucht dann unten nur aufgeladen und abgefördert zu werden, wozu ein besonderes System von Grubenbauen dient.

Neben der Bohr- und Sprengarbeit und neben der Schwerkraft dienen Maschinen zur Hereingewinnung im Abbau, und zwar bei allen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

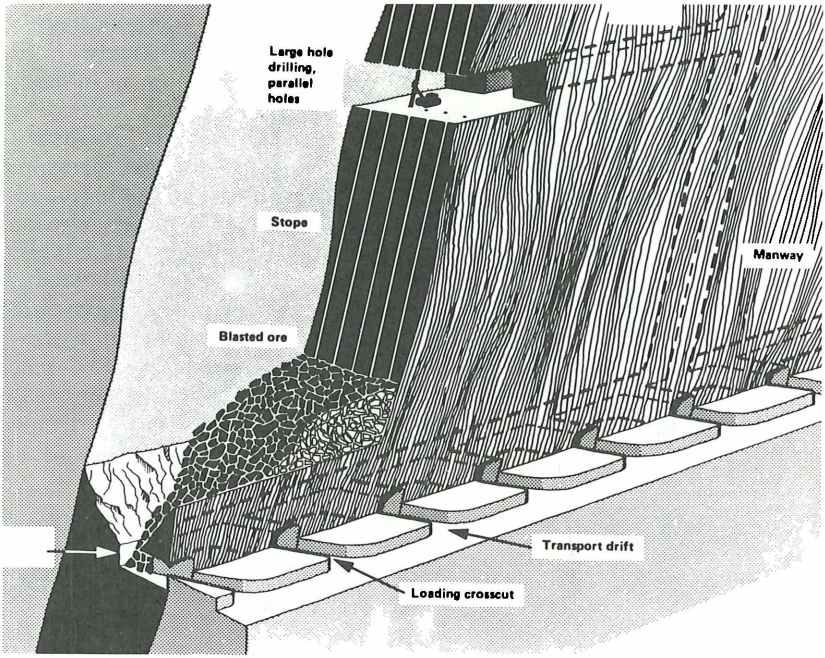

Abb. 11: Weitungsbau in einem modernen Erzbergwerk (36).

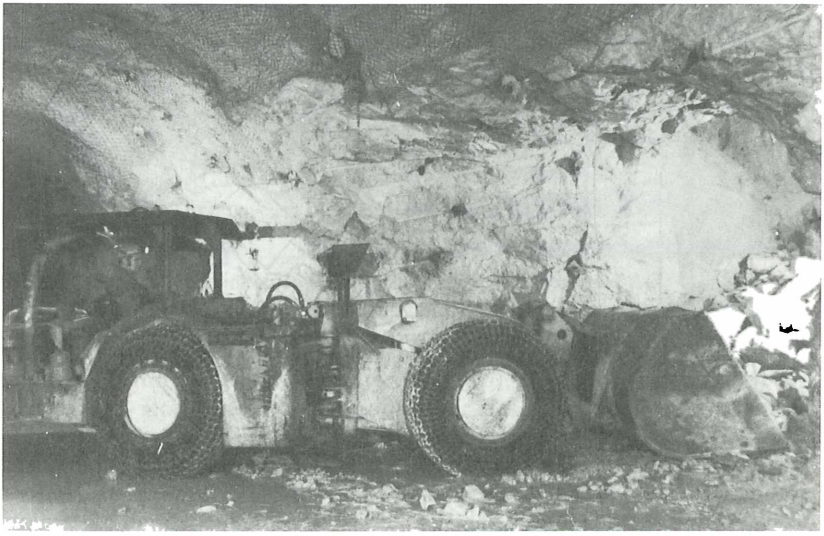

Abb. 12: Schaufellader (16).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

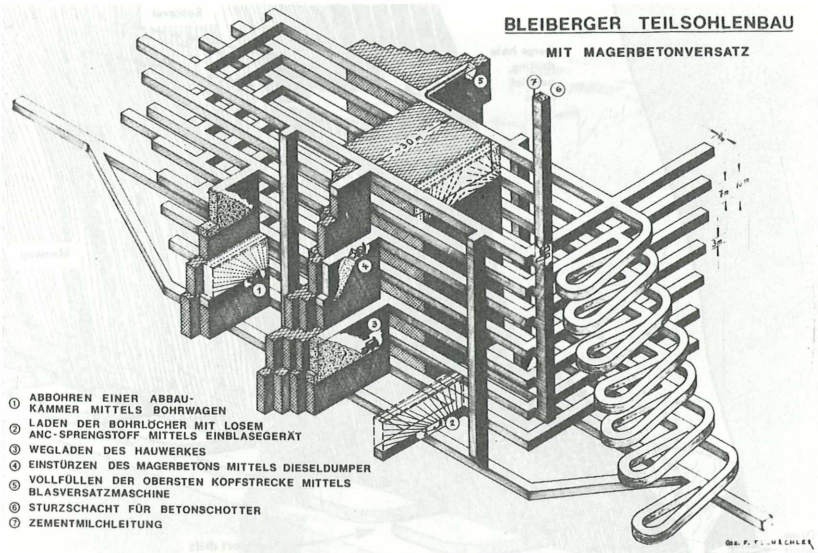

Abb. 13: Kammerbau auf Teilsohlen und mit Magerbetonversatz im Bergbau Kreuth der Bleiberger Bergwerksunion, Kärnten (35).

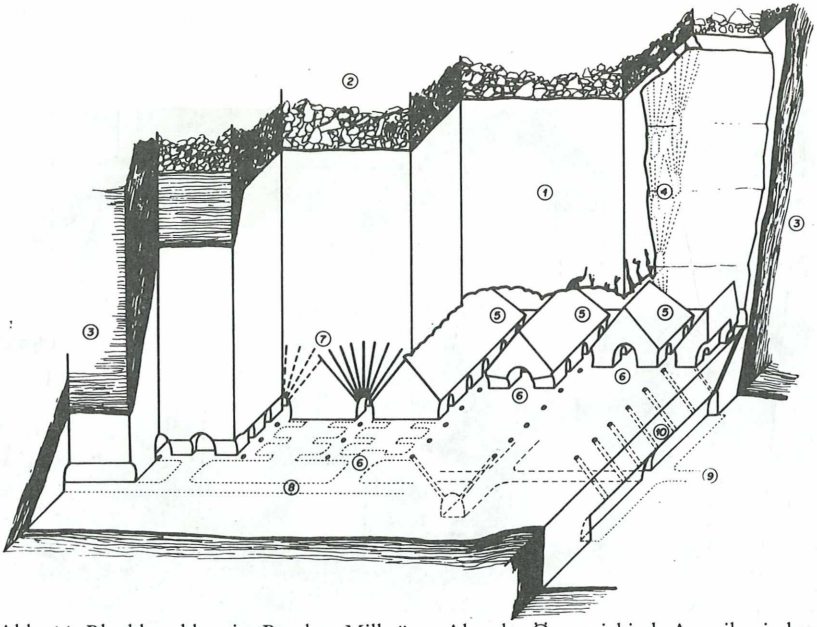

Abb. 14: Blockbruchbau im Bergbau Millstätter Alpe der Österreichisch-Amerikanischen Magnesit AG, Kärnten (55).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lagerstätten, wo dies die beste Alternative ist. Bild 15 stammt von dem mit 1400 Meter Teufe tiefsten Steinkohlenbergwerk der Welt in Ibbenbüren in Westfalen (60). Die plattenförmige Lagerstätte, das Kohlenflöz, ist flach gelagert und verhältnismäßig dünn. Das hier verwendete Abbauverfahren heißt Strebbau. Wir schauen entlang eines Kratzerfördermittels in einen nahezu mannlosen, niedrigen und schmalen Abbauraum, den Streb, der sich etwa 200 Meter in das Bild hinein erstreckt und der an seinen beiden Enden von rechtwinkelig zu ihm verlaufenden Zugangsstrecken – vom Laien als Stollen bezeichnet – begleitet wird. Die auf der einen Längsseite des Strebs anstehende Kohle wird stetig durch einen sogenannten Kohlenhobel gewonnen und auf das Fördermittel verladen. Dabei verschiebt sich der Abbauraum, der durch einen vollmechanisierten wandernden Stahlausbau geschützt wird, ebenso stetig parallel zu seiner Längsrichtung, im Bild nach links. Auf seiner Rückseite bricht – dem Fortschreiten des Ausbaus folgend – das Gebirge nach.

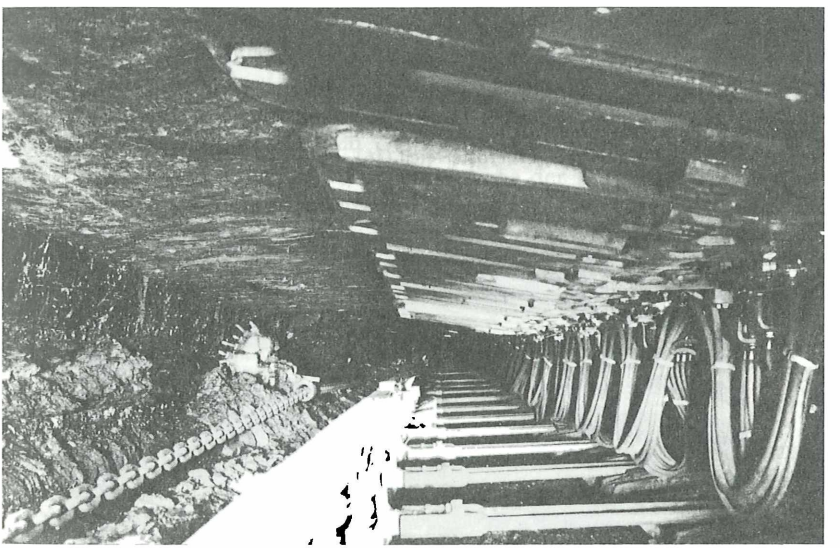

Abb. 15: Strebbau im Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren der Preussag AG, Westfalen (59).

Einen ähnlichen Strebbau zeigt auch Bild 16 aus dem Braunkohlenbergbau Trimmelkam in Oberösterreich (16). In dem mächtigeren Flöz wird jedoch statt eines Kohlenhobels für das Gewinnen eine Walzenschrämmaschine verwendet. Die Mechanisierung der Gewinnung und des Ausbaus im Abbau im österreichischen Braunkohlenbergbau, zu deren Einführung in den sechziger Jahre wir beigetragen haben, hatte besonders ungünstige Bedingungen im Hinblick auf das Nebengebirge der Flöze zu überwinden (6).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

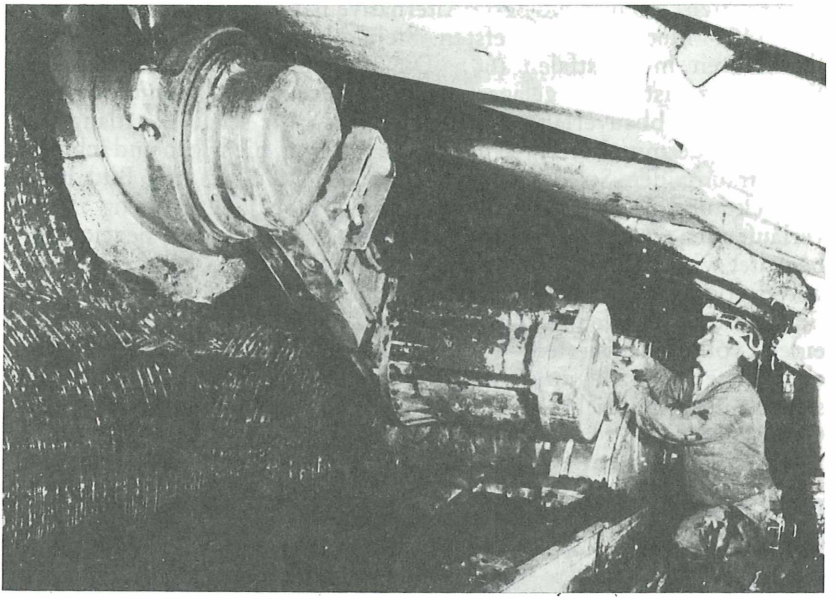

Abb. 16: Strebbau im Braunkohlenbergwerk Trimmelkam der Salzach Kohlenbergbau GesmbH., Oberösterreich (16), Foto AK-Report.

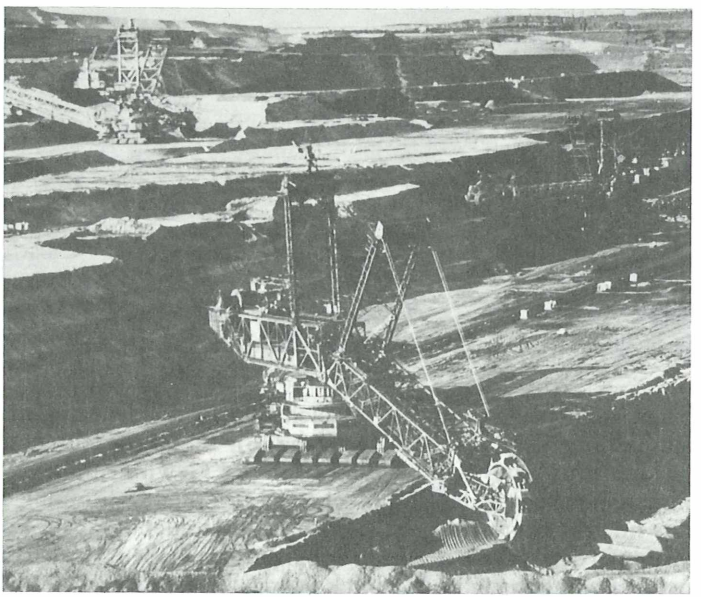

Abb. 17: Schaufelradbagger im rheinischen Braunkohlenbergbau (60).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Der damit vorgestellte Wandel der Bergtechnik unter Tage in den vergangenen Jahrzehnten betrifft alle Bergbauzweige. Er gilt auch keineswegs nur für den zentralen Bereich der Abbautechnik, aus dem unsere Beispiele kommen. Ähnliche Entwicklungen lassen sich vielmehr auch für viele andere Teilbereiche der Bergtechnik nennen, wie beispielsweise für das Schachtabteufen – bald wird im Goldbergbau Südafrikas übrigens der tiefste Schacht der Welt bei 4164 Metern Teufe stehen, wofür günstige Bedingungen die Voraussetzung sind – oder für die Bewetterung und die Grubenklimatisierung.

Noch schneller als im Bergbau unter Tage verlief und verläuft noch immer die bergtechnische Entwicklung im Tagebau. Besonders eindrucksvoll ist hierbei der Braunkohlenbergbau. Die größten Bagger der in Bild 17 gezeigten Art wiegen bereits 13.000 Tonnen und können täglich 240.000 m³ Abraum oder Kohle gewinnen (61).

Antriebe der bergtechnischen Entwicklung im konventionellen Bergbau

Die vorgestellte Entwicklung der konventionellen Bergtechnik ist weiterhin in vollem Gange. Was waren und was sind ihre Antriebskräfte?

Als erstes gehört dazu fraglos die zunehmend bessere Kenntnis der naturgesetzlichen Zusammenhänge zwischen den bergtechnischen Eingriffen in das Gebirge und den Gebirgsreaktionen.

Bild 18 veranschaulicht die Teilbereiche der Bergtechnik und zeigt dazu links oben den Grubenzuschnitt sowie die Vortriebs- und die Abbautechnik als bergtechnische Komplexverfahren (7). Diese Komplexverfahren beruhen auf einer Kombination eigener Verfahrenszüge mit den im mittleren Kasten aufgeführten Grundverfahren, worunter an zentraler

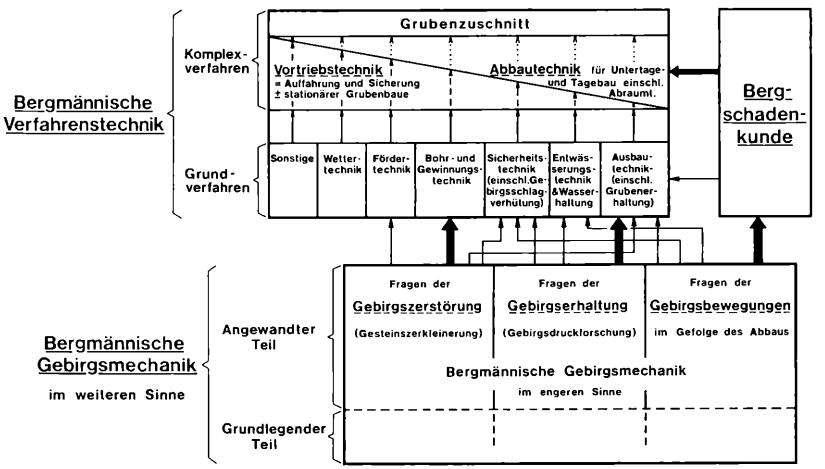

Abb. 18: Schema zur Struktur von Bergtechnik und Bergmännischer Gebirgsmechanik (7).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stelle die Bohr- und Gewinnungstechnik steht. Die Kombination wird dabei in jedem Einzelfall weitgehend von der Lagerstättenbonität bestimmt.

Besonders einflußreiche Bonitätsfaktoren stellen dabei die geomechanischen Bedingungen dar. Im Zuge der Verwissenschaftlichung der Bergbaukunde als akademischer Disziplin für Bergtechnik und Bergwirtschaft hat sich daher auch die Bergmännische Gebirgsmechanik gemäß dem unteren Kasten als eine grundlegende Teildisziplin des Faches entwickelt. Außer auf das Erzwingen und auf das Verhüten von Bruch bezieht sie sich auch auf großräumige Gebirgsbewegungen im Gefolge des Abbaus. Der Mechanik ist damit für die Bergtechnik – als Mittel für das Verfügbarmachen mineralischer Rohstoffe – eine vergleichbare Aufgabe zugewachsen wie der Physikalischen Chemie für die Hüttentechnik.

An dem von mir geleiteten Institut für Bergbaukunde der Montanuniversität Leoben befassen wir uns vor allem mit der Kette: Gebirgszerstörung – Bohr- und Gewinnungstechnik – Abbautechnik.[4] Seit längerem betreffen diese Arbeiten Grundlagenuntersuchungen zur spanenden und schlagenden Gesteinsbearbeitung und Studien zum Einsatz von neuartigen Sprengstoffen und von Gewinnungsmaschinen, zumeist in Kooperation mit Unternehmen des Bergbaus und der Bergbauzulieferindustrie (2, 3, 22, 24, 26, 27, 28, 34, 37, 38). Soeben in einer ersten Stufe abgeschlossen sind Versuche zur hydromechanischen Gesteinsbearbeitung in Zusammenarbeit mit den VEW in Kapfenberg und dem Forschungsinstitut des Steinkohlenbergbauvereins in Essen (33). Im Zusammenhang mit der Abbautechnik bearbeiten wir aber auch Fragen der Gebirgserhaltung (15, 50). – Auf die Darlegung weiterer Einzelheiten zu diesen Spezialgebieten muß hier jedoch verzichtet werden.

Die konventionelle Bergtechnik hat ihre Entwicklungsantriebe aber nicht nur aus der wissenschaftlichen Vertiefung durch die Gebirgsmechanik erfahren, sondern zweitens selbstverständlich auch von den allgemeinen naturwissenschaftlich-technischen Fortschritten der vergangenen Jahrzehnte und von dem entsprechenden Erfahrungsaustausch. Ein besonderes Gebiet, in dem sich Bergtechnik und Bautechnik überschneiden, stellt dabei der Stollen- und Tunnelbau dar und damit auch der Einsatz großer Vortriebsmaschinen.

---

[4] Die bergbaukundliche Terminologie unterscheidet wie folgt: Die Bohr- und Gewinnungstechnik dient dem unmittelbaren Lösen von Bestandteilen des Gebirges aus ihrem Verband (z. B. durch Bohren und Sprengen), sei es von mineralischen Rohstoffen beim Abbau, sei es von taubem Material bei Vortriebs- und Abraumarbeiten. Die Abbautechnik geht – wie im übrigen auch die Vortriebstechnik – darüber hinaus. Sie schließt außer der Bohr- und Gewinnungstechnik (Verhiebstechnik) auch die damit im räumlichen Zusammenhang stehenden begleitenden Tätigkeiten ein – wie insbesondere diejenigen der Gebirgsbeherrschung (vor allem durch Ausbau) – sowie die Art und Weise, in der die Abbaufronten räumlich und zeitlich gesehen über einen jeweiligen Abbauabschnitt vorrücken (Abbauverfahren). Ferner gehört zur Abbautechnik auch die grundlegende Einteilung der Lagerstätte in einzelne Abbauabschnitte und die Abfolge bei deren Abbau (Abbauführung).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die genannten Entwicklungsantriebe sind bis heute unverändert wirksam. Da die Gebirgsmechanik erst in ihrer Aufschwungphase steht, werden von ihr sicher weitere Verbesserungen der Bergtechnik ausgehen. Von der allgemeinen technischen Entwicklung werden vor allem Automatisierung und Prozeßsteuerung von Bedeutung sein. Die Automatisierung hat in der Bergtechnik erst Teilbereiche erfaßt, wie insbesondere Fördertechnik und Belüftungstechnik. Auf längere Sicht ist aber das gesamte Gebiet der konventionellen Bergtechnik der Automatisierung und Roboterisierung zugänglich.

Aussichten der technischen Entwicklung im nicht-konventionellen Bergbau

Große Entwicklungschancen gibt es zudem im Bereich der Bergbautechnik für die Nutzung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe, die heute noch gemäß Bild 6 als nicht konventionell bezeichnet wird.

Meeresbergbau mit Hilfe von Schiffen und tiefreichenden Rohrsträngen wird gegenwärtig in mehreren Staaten zum Abbau der etwa erdäpfelgroßen Erzknollen geplant, die in gewaltigen Mengen große Teile des Tiefseebodens bedecken. In ihnen ist die derzeitige Jahresproduktion von Kupfer einige tausendmal, von Nickel, Kobalt und Mangan sogar mehrere zehntausendmal enthalten (46). Von Leoben aus können wir verständlicherweise die diesbezüglichen technischen Entwicklungen nur verfolgen. Das reicht aber dafür, diesen Entwicklungen beträchtliche Zukunftsaussichten zuzumessen. Auch die langen Verhandlungen der Vereinten Nationen zum neuen internationalen Seerecht gehen weitgehend auf den angesprochenen Sachverhalt zurück.

Für einen Bohrlochbergbau von über Tage aus, ähnlich dem sehr rationellen Vorgehen bei Erdöl und Erdgas, sind die festen mineralischen Rohstoffe entweder in Suspension zu bringen oder in den flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand zu überführen. Stand der Technik ist eine solche Phasenumwandlung bisher erst unter bestimmten Bedingungen bei Schwefel – durch Aufschmelzen mit Hilfe von Heißwasser – sowie bei Salz durch Lösen in Wasser. Erfolgreiche diesbezügliche Entwicklungen bei den Österreichischen Salinen fanden in engem Kontakt mit uns statt (53).

Noch keinen durchschlagenden Erfolg haben dagegen bisher die seit Jahrzehnten immer wieder in vielen Ländern angestellten Studien und Versuche, darunter auch mehrere eigene Studien, zur Untertagevergasung von Kohle über Bohrlöcher gebracht (10, 23, 44). Ungeachtet aller Rückschläge wird sich aber nach meiner Einschätzung das Verfahren langfristig einen gewissen Platz erobern.

Bislang mehr erfolgreich verlaufen jüngere amerikanische Versuche zum Auslaugen von Kupfer- und Uranlagerstätten über Bohrlöcher mit Hilfe verschiedener Lösungsmittel. Dabei wird im weiteren Verlauf auch

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

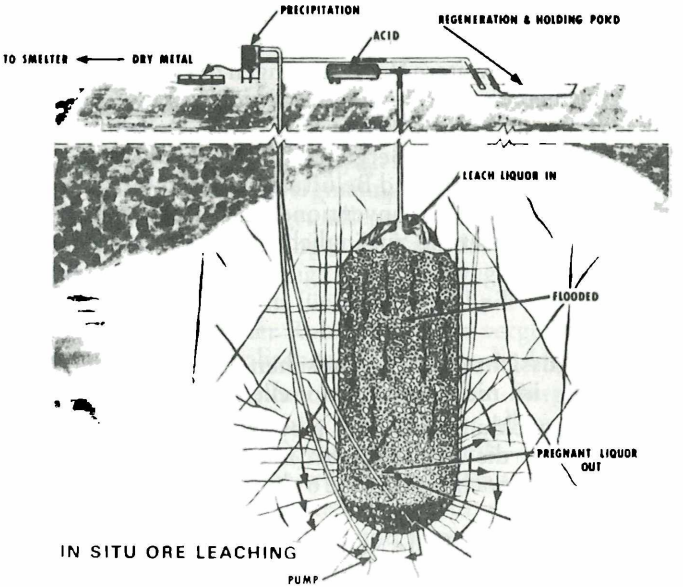

Abb. 19: Modellvorstellung eines Bohrlochbergbaus auf Erz mit Hilfe einer Kernsprengung und von Lösungsmitteln (39).

an Kernsprengungen gemäß Bild 19 gedacht, um die Durchlässigkeit großer Lagerstättenkörper für den Angriff der Lösungsmittel zu verbessern (39).

Streng genommen stellt die Phasenumwandlung von Erzen in situ einen Vorgang dar, bei dem Verfahren der Bergtechnik unmittelbar mit solchen der Aufbereitungstechnik und der Hydrometallurgie kombiniert werden müssen. Entsprechend sind interdisziplinäre Betrachtungen erforderlich.

Die Aufbereitungstechnik zum Trennen der Wertstoffe vom Tauben ist wegen der damit meist verbundenen Zerkleinerungsarbeit in hohem Maße auf Energie angewiesen. Relativ noch weitaus mehr Energie benötigt die Metallurgie. Auf die Energieproblematik waren wir schon unter Punkt 5 im ersten Teil des Vortrags eingegangen.

Sollten uns tatsächlich die herkömmlichen Lagerstätten ausgehen und wir darauf angewiesen sein, normale Gesteine, z. B. in Wüsten, als Rohstoffquellen zu nutzen, reduziert sich daher auch bei Einbeziehung unkonventioneller Verfahren die Frage der zukünftigen Verfügbarkeit von Metallen letzten Endes auf ein Energieproblem, einschließlich der damit verbundenen ökologischen Fragen. Das gleiche gilt praktisch auch für alle übrigen Rohstoffe.

Physikalisch stehen auf der Erde nahezu unbegrenzte Energiepotentiale zur Verfügung – von der ausgestrahlten Sonnenenergie bis zur

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kernfusion. Offen ist, ob und wann es technisch, wirtschaftlich und ökologisch gelingt, daraus auch sogenannte „back-stop technologies" zur praktisch unbeschränkten Energieversorgung werden zu lassen (52).

Möglicherweise kann dieses Problem jedoch durch den sogenannten Biobergbau beträchtlich an Gewicht verlieren, d. h. durch die Nutzung der Arbeitsfähigkeit von Mikroorganismen und die Entwicklung der Gentechnologie (4). Auf über Tage ausgeführte sogenannte mikrobielle Haufenlaugung von gewonnenen sulfidischen Armerzen entfallen in den USA bereits 10 % der Kupferproduktion. Ähnlich ist es bei Uran.

Einschlägig tätige Forscher halten es für möglich,

– diese bakterielle Laugung auch auf andere Erze auszudehnen,

– das Verfahren über Bohrlöcher auch in der Lagerstätte selbst, d. h. in situ vorzunehmen,

– dabei die rein chemische Laugung leistungsmäßig wesentlich zu übertreffen

– und mit Gentechnologie Mikroben zu schaffen, die ganz auf Anforderungen des Bergbaus zugeschnitten sind.

Schlußbemerkungen

Ich möchte meinen Vortrag nicht ohne eine Bemerkung zum notwendigen Ausgleich von Ökonomie und Ökologie auch beim Bergbau vorübergehen lassen. Wie sehr dies möglich ist, zeigen die Braunkohlentagebaue östlich der Linie Neuss–Köln–Bonn, also in einem der dichtest besiedelten Gebiete Europas.

Die Gruben, die zu den größten der Welt zählen, beanspruchen – wie auch Bild 17 zeigt – über Jahre hinaus weite Teile der Landschaft. Erforderliche Umsiedlungen werden jedoch so vorgenommen, daß den Betroffenen nicht nur objektiv, sondern möglichst auch subjektiv kein Schaden erwächst. Dem Abbau folgt zudem unmittelbar die Rekultivierung. Bild 20 möge erkennen lassen, was Fachleute ebenso wie die große Mehrzahl der Betroffenen meinen. Der neue Zustand steht in der Regel dem früheren nicht nach und ist vielfach sogar besser (61).

Damit komme ich zu den letzten Bemerkungen meines Vortrages. Gewiß ist, daß auch in Zukunft die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe von geowissenschaftlichen Zusammenhängen ebenso bestimmt werden wird wie von solchen technisch-wirtschaftlicher Art. Ebenso gewiß können wir – Frieden vorausgesetzt – mit erheblichen weiteren Entwicklungen der Technik, einschließlich der Bergbautechnik, rechnen. Grundsätzlich ungewiß sind aber die Richtung und die Geschwindigkeit dieses Wandels im Hinblick auf das Verfügbarmachen der mineralischen Rohstoffe. Bislang ungewiß sind ferner auch einige die Rohstoffproblematik berührende globale ökologische Fragen wie beispielsweise das CO_2-Problem.

Das bedeutet aber, daß es auch keine sichere Antwort auf unsere Frage gibt, ob die in Zukunft benötigten Rohstoffe nachhaltig verfügbar

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

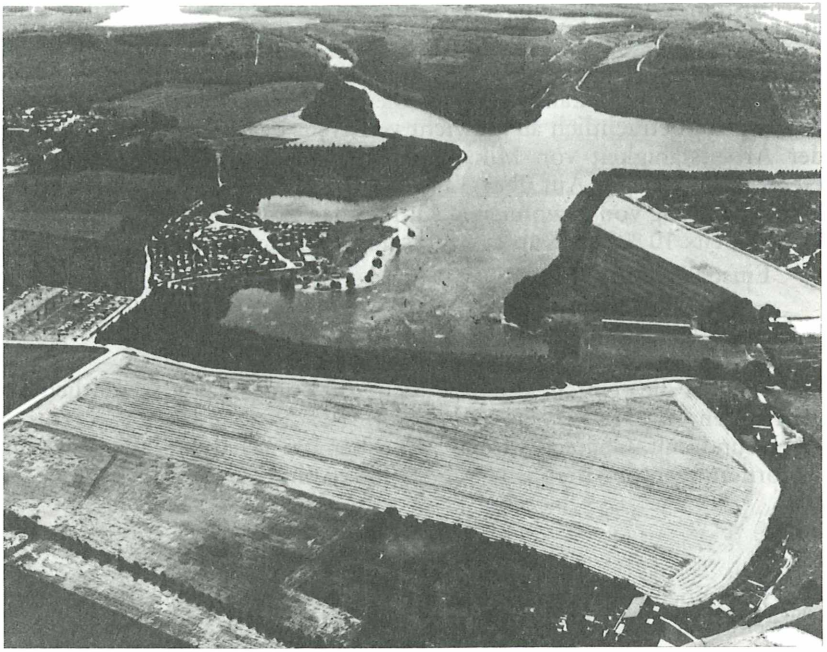

Abb. 20: Tagebaurekultivierung im rheinischen Braunkohlenbergbau.

sein werden. Nur subjektive Antworten sind möglich. Sie hängen letzten Endes davon ab, ob die Betreffenden im Hinblick auf die Zukunft mehr optimistisch oder mehr pessimistisch denken.

Gewißheit gibt es jedoch fraglos wieder, wenn es gilt, Schlußfolgerungen aus dem soeben Gesagten zu ziehen. Mit Sicherheit werden wir nur bei entsprechenden Bemühungen, vor allem solchen bei Forschung und Entwicklung, auch in Zukunft ausreichend über mineralische Rohstoffe verfügen und damit in der Lage sein, den Wohlstand in den Industrieländern zu erhalten und die Armut in den Entwicklungsländern zu beseitigen.

Goethe, der in Ilmenau bergmännische Erfahrungen hatte sammeln können, schrieb in das Gästebuch der Knappschaft von Tarnowitz:

„Wer hilft Euch, Schätze zu finden und sie glücklich zu bringen ans Licht? Nur Verstand und Redlichkeit helfen. Es führen die beiden Schlüssel zu jeglichem Schatz, welchen die Erde verwahrt.“

Literatur- und Quellenverzeichnis

(1) BAUER, L., FETTWEIS, G. B. & FIALA, W.: Classification Schemes and their Importance for the Assessment of Energy Supplies. In: Proceedings of the 10th World Energy Conference. Istanbul 1977.

(2) BRENNSTEINER, E.: Neuere Erkenntnisse über die Wirkungsweise des schlagenden Bohrens. Berg- und Hüttenm. Mh. 120 (1975), S. 60–68.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(3) BRENNSTEINER, E.: Untersuchungen über die Zusammenhänge der wichtigsten Parameter beim schlagenden Bohren mit hydraulischen Hammerbohrmaschinen. Berg- und Hüttenm. Mh. 124 (1979), S. 473–482.

(4) BRIERLEY, L.: Bakterien als Helfer im Bergbau. Spektrum der Wissenschaft 10/1982, S. 44–57.

(5) BRINKMANN, R.: Lehrbuch der Allgemeinen Geologie. Bd. I, 2. Aufl., Ferdinand Enke, Stuttgart 1974.

(6) FETTWEIS, G. B.: Bergtechnische Entwicklungen und Probleme im österreichischen Bergbau. Z. Erzbergb. Metallhüttenw. (Erzmetall) 20 (1967), S. 547–561.

(7) FETTWEIS, G. B.: Über Verformungs-, Riß- und Bruchvorgänge im Bergbau. Montan-Rundschau 21 (1973), S. 291–301.

(8) FETTWEIS, G. B.: Contributions to the assessment of world coal resources or coal is not so abundant. In: a) Vorabdrucke zur IIASA-Tagung Mai 1975. b) First IIASA-Conference on Energy Resources. International Institut for Applied System Analysis CP-76-4. Laxenburg 1976, S. 467–530. c) Methods and Models for Assessing Energy Resources. IIASA-Proceedings Series, Vol. 5 (Editor: Michel Grenon). Pergamon Press, Oxford 1979. S. 401–461.

(9) FETTWEIS, G. B.: Weltkohlenvorräte. Eine vergleichende Analyse ihrer Erfassung und Bewertung. Verlag Glückauf, Essen 1976. 435 S. – In Englisch: World Coal Resources. Methods of Assessment and Results. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam – Oxford – New York, 1979. 415 S.

(10) FETTWEIS, G. B.: Über alternative Technologien zum herkömmlichen Kohlenbergbau. In: Weltkohlenvorräte gemäß (9), S. 117–150.

(11) FETTWEIS, G. B.: Proposal to distinguish between occurrences and resources of mineral commodities with special reference to coal. Paper for the Third IIASA Conference on Energy Resources, Moscow 1977. In: Future Coal Supply for the World Energy Balance. IIASA Proceedings Series, Vol. 6 (Editor: Michel Grenon). Pergamon Press, Oxford 1979. S. 66–81.

(12) FETTWEIS, G. B.: Quality and "Bonität" of mineral occurences as factors of mineability. Paper for the third IIASA-Conference on Energy Resources, Moscow 1977. In: Future Coal Supply for the World Energy Balance. IIASA Proceedings Series, Vol. 6 (Editor: Michel Grenon). Pergamon Press, Oxford 1979. S. 82–99.

(13) FETTWEIS, G. B.: Über die Verfügbarkeit von festen mineralischen Energierohstoffen. In: Energie-Verfügbarkeit und Einsparungsmöglichkeiten. Radex-Rundschau, Radenthein 1979, Heft 3, S. 1042–1060.

(14) FETTWEIS, G. B.: Die Situation der Vorräte an Kohle und Erdöl unter Berücksichtigung von Gewinnungs- und Transportproblemen. Berg- und Hüttenm. Mh. 124 (1979), S. 353–367.

(15) FETTWEIS, G. B.: Auswahl von Betriebs- und Abbauverfahren als Kriterien für die Bewertung von Vorkommen fester mineralischer Rohstoffe. Berg- und Hüttenm. Mh. 124 (1979), S. 621–632. – Siehe auch die dort genannten Arbeiten von DEMIRCI; FETTWEIS; HABENICHT; LECHNER; WIROBAL.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(16) FETTWEIS, G. B.: Bergmännische Gesichtspunkte zur Rohstoffversorgung. In: Rohstoffe und Energie in Österreich – Beispiele für Möglichkeiten und Grenzen. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Wien 1981 – Siehe auch die dort angeführten weiteren Arbeiten des Verfassers.

(17) FETTWEIS, G. B.: Bemerkungen zur Kohlesituation in Österreich und in der Welt. Berg- und Hüttenm. Mh. 126 (1981), S. 203–221. – Siehe auch die dort angeführten weiteren Arbeiten des Verfassers.

(18) FETTWEIS, G. B.: Bauwürdigkeit und Verfügbarkeit von Steinkohlevorkommen in der Welt – Zusammenhänge und Entwicklungen. Glückauf 117 (1981), S. 1019–1031. – Siehe auch die dort angeführten weiteren Arbeiten des Verfassers.

(19) FETTWEIS, G. B.: Die internationale Einordnung von Mineralvorräten „The International Classification of Mineral Resources" der Vereinten Nationen – Entstehung und Struktur. Erzmetall 34 (1981), S. 400–406 und 465–469.

(20) FETTWEIS, G. B.: Bergmännische Überlegungen zur Exploration im allgemeinen und zum Stand der Kohlenexploration in Österreich im besonderen. Berg- und Hüttenm. Mh. 128 (1983), S. 93–106.

(21) FETTWEIS, G. B.: The Role of Increased Efficiency in the Extraction of Primary Forms of Energy within National Energy and Research and Development Policies – Solid Fuels. In: Improved Techniques for the Extraction of Primary Forms of Energy. Graham and Trotman Ltd., London 1983.

(22) FETTWEIS, G. B. & BRENNSTEINER, E.: Kritische Betrachtungen zu den Untersuchungen der Spanbildung beim schlagenden Bohren. In: „Folia montana" (Banicka listy) der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Kosice 1976. S. 162–170.

(23) FETTWEIS, G. B. & EISENREICH, P.: Erhebungen zur Untertagevergasung von Kohlenlagerstätten. Montan-Rundschau 21 (1973), S. 263–270.

(24) FETTWEIS, G. B., GEHRING, K. H. & HABENICHT, H.: Über gebirgsmechanische Entwicklungen im Bergbau. Rock Mechanics, Suppl. 2 (1973), S. 127–162. Springer Verlag, Wien – New York 1973. – Siehe auch die dort genannten Arbeiten von FETTWEIS; FETTWEIS und RESKA; FETTWEIS, RESKA und WAGNER; GEHRING; HABENICHT; HABENICHT und BRENNSTEINER; RESKA; WAGNER.

(25) FETTWEIS, G. B. & STANGL, P.: Aufschluß und Nutzung der Kohlenvorräte in der aufgeschlossenen Zone des Ruhrreviers bis 1970. Glückauf 111 (1975), S. 101–108.

(26) GEHRING, K. H.: About Principles of Chip Formation from Rock Treatment with Cutting Tools. In: Internat. Tagung über den Bruch. VdEh, Düsseldorf 1973.

(27) GEHRING, K. H.: Möglichkeiten zur Beurteilung des Arbeitsverhaltens von Werkzeugen zur schneidenden Gesteinsbearbeitung. Berg- und Hüttenm. Mh. 118 (1973), S. 319–327.

(28) GEHRING, K. H.: Über den Zusammenhang zwischen Gesteinseigenschaften und Gewinnbarkeit unter besonderer Berücksichtigung der Vortriebstechnik. Berg- und Hüttenm. 120 (1975), S. 146–152.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(29) GLANTSCHNIG, N.: Der Bleiburger Teilsohlenbau mit Magerbetonversatz. Erzmetall 27 (1974), S. 126–132.

(30) Group of Experts on Definitions and Terminology for Mineral Resources: The International Classification of Mineral Resources. Economic Report No. 1, May 1979. Annex to: Natural Resources and Energy, Vol. 4, Nov. 1, August 1979. Centre for Natural Resources, Energy and Transport of the United Nations Secretariat, New York 1979.

(31) HARRIS, D. P. & SKINNER, B. J.: The Assessment of Long-term Supplies of Minerals. In: SMITH, V. K. & KRUTILLA, J. V., editors: Explorations in Natural Reseource Economics. Published for Resources for the Future. Inc. by John Hopkins University Press. Baltimore and London, 1982.

(32) HEILFURTH, G.: Der Bergbau und seine Kultur. Verlag Atlantis, Zürich und Freiburg im Breisgau 1981.

(33) HÖLZL, K.: Untersuchungen zur Optimierung der hydraulischen Abtragerate beim hochdruckwasserstrahlunterstützten Drehbohren. Diplomarbeit, Leoben 1982.

(34) HOSCHER, M.: Erfassung verschiedener Gesteinsparameter für Untersuchungen über die Bohrbarkeit von Gesteinen. Berg- und Hüttenm. Mh. 124 (1979), S. 63–67.

(35) HRIBERNIGG, H.: Die Weiterentwicklung des Bleiberger Teilsohlenbaus mit Magerbetonversatz. Berg- und Hüttenm. Mh. 121 (1976), S. 97–102.

(36) HUSTRULID, W. A., ed.: Underground Mining Methods Handbook. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York 1982.

(37) LECHNER, E.: Beitrag zur rechnerischen Bestimmung von Bohr- und Schießschemen. Rock Mechanics 7 (1975), S. 185–192.

(38) LECHNER, E. & HANNAK, H.: Zum Problem der Sprengerschütterungen bei der Gewinnung im Tagbau. Berg- und Hüttenm. Mh. 125 (1980), S. 540–552.

(39) NORDYKE, M. D.: Peaceful Uses of Nuclear Explosives. In: Peaceful Nuclear Explosions. International Atomic Energy Agency, Wien 1970.

(40) PETRASCHEK, W. E.: Berechnung und Schätzung von Lagerstättenvorräten. Z. Erzbergb. Metallhüttenw. Erzmetall 4 (1951), S. 209–211.

(41) PETRASCHEK, W. E.: Zur Diskussion über die Lagerstättenvorräte, Z. Erzbergb. Metallhüttenw. (Erzmetall) 10 (1957), S. 113–116.

(42) PETRASCHEK, W. E.: Die Bestimmung der Lagerstättenvorräte im österreichischen Erzbergbau. Berg- und Hüttenm. Mh. 115 (1970), S. 113–116.

(43) PETRASCHEK, W. E. & POHL, W.: Lagerstättenlehre, 3. Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart 1982.

(44) PIRKLBAUER, S.: In-situ-Kohlevergasung, Studie über den derzeitigen Stand der Technik in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Wien 1976.

(45) PROKOP, F. W.: The Future Economic Significance of Large Lowgrade Copper and Nickel Deposits. Gebrüder Borntraeger, Berlin – Stuttgart 1975.

(46) SCHNEIDER, J.: Geowissenschaftler und ihre Verantwortung für die menschliche Gesellschaft, Beispiel Manganknollen-Gewinnung aus der Tiefsee. Geologische Rundschau 66 (1977), S. 740–757.
(47) SKINNER, B. J.: A Second Iron Age Ahead? Scientific American 64 (1976), S. 258–269.
(48) SKINNER, B. J.: Earth resources. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 76 (1979), S. 4212–4217.
(49) SMITH, U.: Scarcity and Growth Reconsidered. Published for Resources for the Future by the John Hopkins University Press, Baltimore and London 1979.
(50) STANGL, P.: Gebirgsmechanische Probleme beim Abbau des Erzkörpers „Westschachtscholle" der BBU. Berg- und Hüttenm. Mh. 120 (1975), S. 490–492. – Siehe auch die dort angegebenen Arbeiten von H. HABENICHT (1970) sowie H. HABENICHT und H. JANSCHEK (1973).
(51) STRANZ, B., FETTWEIS, G. B., DOKUKIN, A. & BRAND, W.: Überlegungen zur Verfügbarkeit fester Energierohstoffe. a) In: Fachberichte der 11. Weltenergiekonferenz, München 1980, Bd. 1A, London 1980. b) Glückauf 116 (1980), S. 1035–1042.
(52) STREISSLER, E.: Die Knappheitsthese – Begründete Vermutungen oder vermutete Fakten. In: SIEBERT, H., als Herausgeber: Erschöpfbare Ressourcen. Duncker & Humblot, Berlin 1980.
(53) THOMANEK, K.: Untersuchungen über die Möglichkeiten zur Rationalisierung der Solegewinnung im alpinen Salzbergbau. Diss. Leoben 1967.
(54) WELLMER, F. W.: Neue Entwicklungen in der Exploration. Erzmetall 36 (1983), S. 7–13 und 124–131.
(55) WEISS, P. F.: Development System for Block Caving Under Severe Conditions. In: STEWART, D., ed.: Design and Operation of Caving and Sublevel Stoping Mines. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. New York 1981. S. 143–146.
(56) WEISS, P., FETTWEIS, G. B., et al.: Relevant Factors for Development and Draw Control of Block Caving. In: D. E. STEWART, ed.: Design and Operation of Caving and Sublevel Stoping Mines. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York 1981. S. 705–714.
(57) Der Verfasser dankt Herrn Prof. Dr. WALTER SIEGL, Institut für Geowissenschaften der Montanuniversität Leoben, für die Bereitstellung dieses bisher nicht publizierten Bildes.
(58) Der Verfasser dankt Herrn Bergassessor L. Freytag von der Eisenhütte Westfalia Lünen AG, Lünen, für das bereitgestellte Bildmaterial.
(59) Der Verfasser dankt Herrn Bergdirektor Dipl.-Ing. H. HRIBERNIGG, Bad Bleiberg, für die Überlassung dieses Bildes.
(60) Der Verfasser dankt Herrn Bergwerksdirektor Dipl.-Ing. Dr. mont. K. H. KUSCHEL, Ibbenbüren, für die Überlassung dieses Bildes.
(61) Der Verfasser dankt den Rheinischen Braunkohlenwerken AG, Köln, für das bereitgestellte Bildmaterial.